

# Positionierzvorrichtung

Publication number:	DE19923462 (C1)	Cited documents:
Publication date:	2000-11-16	
Inventor(s):	KOHLER RAINER [DE]	
Applicant(s):	PHYSIK INSTR PI GMBH & CO [DE]	
Classification:		
- international:	H01L41/04; H02N2/06; H01L41/00; H02N2/02; (IPC1-7): G05D3/20; G12B1/00; H02N2/06	
- European:	<u>H01L41/04B</u>	
Application number:	DE19991023462 19990521	<input type="checkbox"/> DE4303125 (C1)
Priority number(s):	DE19991023462 19990521; DE19991017857 19990420	<input type="checkbox"/> DE9209515U (U1)
		<input type="checkbox"/> GB2238406 (A)
		<input type="checkbox"/> US4987303 (A)

[View INPADOC patent family](#)

[View list of citing documents](#)

## Abstract of DE 19923462 (C1)

The invention relates to a positioning device (100) with a positioning drive (103), comprising in particular, a piezoceramic actuator, a positioning sensor (105) and a control device (107-115) for the positioning drive which is connected on the input side to a control-signal input unit (101) and to the positioning sensor in a closed loop. The control device is designed for outputting pre-configured control signals to the positioning drive, whereby the control device has a controllable filter (109) which has modifiable filter co-efficients and which is connected to a filter-co-efficient calculation unit (115) via a control input. The filter co-efficient calculation unit is connected to the control-signal input unit via a first input and at least to the positioning sensor via a second input and calculates the current filter co-efficients from predetermined position-control signals ( $X[n]$ ) which have been input and from position signals ( $S[n]$ ) which have been detected in real time.



The EPO does not accept any responsibility for the accuracy of data and information originating from other authorities than the EPO; in particular, the EPO does not guarantee that they are complete, up-to-date or fit for specific purposes. [Translate this text](#)

## Description of DE 19923462 (C1)



⑯ BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Patentschrift**  
⑯ **DE 199 23 462 C 1**

⑮ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 05 D 3/20**  
G 12 B 1/00  
H 02 N 2/06

⑯ Aktenzeichen: 199 23 462.0-33  
⑯ Anmeldetag: 21. 5. 1999  
⑯ Offenlegungstag: -  
⑯ Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 16. 11. 2000

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑯ Innere Priorität:  
199 17 857. 7 20. 04. 1999

⑯ Patentinhaber:  
Physik Instrumente (PI) GmbH & Co, 76337  
Walldbronn, DE

⑯ Vertreter:  
Meissner, Bolte & Partner, 80538 München

⑯ Erfinder:  
Kohler, Rainer, 76337 Walldbronn, DE

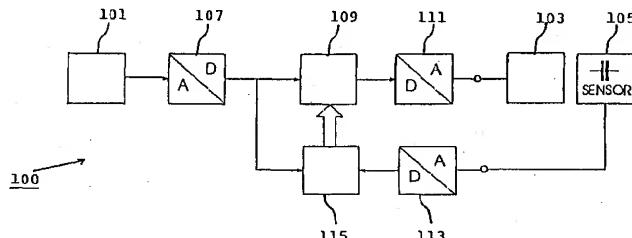
⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 43 03 125 C1  
DE 92 09 515 U1  
GB 22 38 406 A  
US 49 87 303

BERGAMIN, A., CAVAGNERO, G., und MANA, G.:  
Servopositioning with picometer resolution. In:  
Rev.Sci.Instr., Vol. 64, No. 1, 1993, S. 168-173;  
HARB, S., SMITH, S.T., und CHETWYND, D.G.:  
Subnanometer behavior of a capacitive feedback,  
piezoelectric displacement actuator. In: Rev.Sci.  
Instr., Vol. 63, No. 2, 1992, S. 1680-1689;  
GLÖSS, R.: New Methods of Signal Pre-shaping  
Strongly Increase Bandwidth of Closed Loop PZT  
Actuators, In: ACTUATOR 98, 6th International  
Conference on New Actuators, 1998, Bremen,  
Germany, S. 285-287;  
GE, Ping und JOVANEH, Musa: Modeling  
hysteresis  
in piezoceramic actuators, In: Precision Engineering,  
Vol. 17, 1995, S. 211-221;

⑯ Positionierzvorrichtung

⑯ Positionierzvorrichtung (100) mit einem, insbesondere  
einen Piezokeramik-Aktor aufweisenden Positionieran-  
trieb (103), einem Positionssensor (105) und einer ein-  
gangsseitig mit einer Steuersignal-Eingabeeinrichtung  
(101) sowie in einer geschlossenen Regelschleife mit dem  
Positionssensor verbundenen Ansteuereinrichtung  
(107-115) für den Positionierantrieb, die zur Ausgabe vor-  
geformter Ansteuersignale an den Positionierantrieb aus-  
gebildet ist, wobei die Ansteuereinrichtung ein steuerba-  
res Filter (109) mit veränderbaren Filterkoeffizienten auf-  
weist, das über einen Steuereingang mit einer Filterkoef-  
fizienten-Berechnungseinheit (115) verbunden ist, welche  
über einen ersten Eingang mit der Steuersignal-Eingabe-  
einrichtung und über einen zweiten Eingang mindestens  
mit dem Positionssensor verbunden ist und aus eingege-  
benen Sollpositions-Steuersignalen (X[n]) sowie erfaßten  
Ist-Positionssignalen (S[n]) in Echtzeit die aktuellen Filter-  
koeffizienten berechnet.



# DE 199 23 462 C 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Positionierzvorrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Positionierzvorrichtungen dieser Art dienen zur Feinstpositionierung auf den verschiedensten Gebieten der Technik,

5 beispielsweise zur Positionierung von Werkzeugen für die spanabhebende Formgebung von Präzisionsteilen, zur Positionierung von optischen Bauteilen wie Spiegeln und Strahleitern oder neuerdings auch zur hochpräzisen Positionierung bei minimalinvasiven chirurgischen Eingriffen. Sie haben üblicherweise einen Stellbereich zwischen einigen  $\mu\text{m}$  und einigen hundert  $\mu\text{m}$  bei einer Auflösung bzw. Schrittweite bis hinab zu einem Nanometer und darunter. Verbreitet sind insbesondere Vorrangungen, bei denen piezokeramische Elemente eingesetzt werden und die unter dem Stichwort "Piezokeramik" zusammengefaßt werden, oder Vorrangungen unter Einsatz magnetischer Aktoren.

10 Aufgrund der bewegten Massen, der physikalisch bedingten Zeitkonstanten der Aktoren und der Übertragungsfunktion des Systems für unterschiedliche Eingangssignalfrequenzen treten bei diesen bekannten Positioniersystemen Differenzen in der Amplitude und Phasenlage zwischen dem Steuersignal am Eingang und der realen Bewegungsbahn ("Ausgang") auf. Piezokeramische Aktoren – vielfach auch kurz als PZT-Elemente bezeichnet – weisen darüber hinaus eine 15 durch die ferroelektrischen Eigenschaften der Keramik bedingte Hysterese auf.

Der grundsätzlich negative und für viele konkrete Anwendungen auch nur unvollkommen theoretisch abschätzbare Effekt dieser Größen, darunter auch der der physikalisch bedingten Trägheit des Positionierantriebs, kann nur bis zu einem gewissen Grad mit bekannten Regelungstechnischen Maßnahmen verringert werden. Die bekannten Positionierantriebe haben daher eine bestimmte Grenzfrequenz, oberhalb der die Verzerrungen am Ausgang, z. B. bei der Bewegung 20 einer Plattform, an einem Drehmeißel oder bei der Kippbewegung eines Spiegels, intolerabel groß werden. Diese Verzerrungen umfassen Signalverformungen, aber auch Phasenverschiebungen. Die Signalverformung ist vielfach amplitudenhängig und die Phasenverschiebung insbesondere frequenzabhängig. Es kann daher nicht mit einer konstanten, einmal eingestellten Entzerrung gearbeitet werden.

25 Aus K. J. Åström: "Computer-Controlled Systems", Prentice-Hall International Editions, S. 150: Reduction by Feedforward, ist es bekannt, mit speziellen Feedforward-Termen im Regler eine weitgehende Korrektur des Phasengangs vorzunehmen. Diese Korrektur geht jedoch auf Kosten der Amplitudentreue der Signalform; insbesondere weist die Bewegung des Positionierers starke Überschwinger auf.

30 Aus Ping Ge, M. Jouaneh: "Modelling Hysteresis in Piezoceramic Actuators", Precision Engineering 17, 211–221 (1995), ist es bekannt, das Hystereseverhalten von piezokeramischen Aktoren aufgrund eines von Ferromagnetika her bekannten Modells zu simulieren und mit einem entsprechenden Modell den Regler zu linearisieren. Hiermit können Verbesserungen im Frequenzverhalten von bis zu 50% erreicht werden.

35 Durch R. Glöß: "New Methods of Signal Preshaping Strongly Increase Bandwidth of Closed Loop PZT Actuators", Actuator 98, 6<sup>th</sup> Intern. Conf. on New Actuators, S. 285–287, ist des weiteren ein Verfahren der Signalvorformung ("Signal Preshaping") bekannt, bei dem in zwei aufeinanderfolgenden Lernphasen die Übertragungsfunktion der Positionierzvorrichtung bezüglich des Amplituden- und Phasenverhaltens und anschließend der Einfluß nichtlinearer Verzerrungen ermittelt und bei einem anschließenden Positionierzvorgang durch eine entsprechende Vorab-Deformation des Steuersignals berücksichtigt werden. Dieses Verfahren ist für bestimmte Anwendungsfälle – beispielsweise bei sich stark ändernden Eingangssignalen – höchst vorteilhaft anwendbar, aber relativ zeitaufwendig, und auf aktuelle Änderungen im System während des eigentlichen Positionierzvorganges (also nach Abschluß der Lernphase) kann damit nicht reagiert werden.

40 Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine verbesserte, flexibel einsetzbare und auf Systemänderungen reagierende Positionierzvorrichtung bereitzustellen.

Diese Aufgabe wird durch eine Positionierzvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

45 Die Erfindung schließt den grundlegenden technischen Gedanken ein, für die dynamische Ansteuerung eines Positionierantriebes, insbesondere eines Piezo- oder Magnetoaktors, ein in einem steuerbaren Filter online vorbearbeitetes Sollpositions-Steuersignal als Stellsignal zu nutzen. Sie schließt weiter den Gedanken ein, die Berechnung der Filterkoeffizienten des Filters quasi in Echtzeit vorzunehmen, und zwar im Ergebnis einer Verarbeitung des genannten Sollpositions-Steuersignals mit einem von einem Positionssensor gelieferten Ist-Positionssignal.

50 Mit diesen Überlegungen wird eine Positionierzvorrichtung geschaffen, die höchst flexibel sowohl auf differenzierte vorbestimmte Einsatzanforderungen als auch auf Systemänderungen während des Positionierzvorganges (beispielsweise auf Temperaturänderungen oder Materialinhomogenitäten des bearbeiteten Werkstücks) reagiert. Die vorgeschlagene Positionierzvorrichtung ist grundsätzlich ohne Initialisierung betriebsbereit und erlernt die geeigneten Filterkoeffizienten (bei Einsatz von zum Anmeldezeitpunkt verfügbarer Standard-Prozeßrechentechnik) typischerweise in weniger als 50 ms, ausgehend von durchgehend auf Null gesetzten Filterkoeffizienten.

55 In einer bevorzugten Ausführung erfolgt die Berechnung der Filterkoeffizienten nach dem Verfahren der kleinsten Fehlerquadrate bzw. dem NLMS (Normalized Least Mean Square)-Algorithmus. Da dieser Algorithmus sehr stabil ist und ein gutes Führungsverhalten besitzt, aber träge auf Systemänderungen reagiert, wird zur Verbesserung des Störverhaltens insbesondere bei dieser Ausführung in die Regelschleife zusätzlich ein PI-Regler (Proportional-Integral-Regler) eingeschaltet.

60 Speziell für Aktoren mit nichtlinearem Verhalten, beispielsweise die oben erwähnten hysteresebehafteten Piezokeramiken, weist die Regelschleife in einer zweckmäßigen Ausführung zudem eine Linearisierungseinrichtung, insbesondere eine Hysteresekompensationseinrichtung, zur Linearisierung des Übertragungsverhaltens auf.

65 Das steuerbare Filter ist bevorzugt ein Digitalfilter, insbesondere ein FIR-Filter (Finite Impulse Response)-Filter, und zur Bearbeitung analoger Sollpositions-Steuersignale ist ihm dann ein A/D-Wandler vorgeschaltet und zur Ausgabe analoger Ansteuer- bzw. Stellsignale ein D/A-Wandler nachgeschaltet. Der zusätzliche Aufwand für die Analog-Digital- bzw. Digital-Analog-Wandlung wird durch die Gebrauchswert- und Kostenvorteile des FIR-Filters ohne weiteres kompensiert. Die sehr kurze, in der Praxis in keiner Weise störende Ansprechzeit des vorab nicht initialisierten Systems wird durch den Einsatz eines Digitalfilters mit Prozessor-Ansteuerung überhaupt erst möglich.

Die vorgeschlagene Positioniervorrichtung sieht in einer zweckmäßigen Ausführung eine zueinander synchrone Be-  
reitstellung des Sollpositions-Steuersignals und des Ist-Positionssignals des Positionssensors jeweils zu vorbestimmten  
Abtastzeitpunkten bzw. mit vorbestimmten Abtastintervallen vor. Die Synchronisation kann in vorteilhafter Weise durch  
einen gemeinsam getakteten Betrieb des oben erwähnten A/D-Wandlers für das Sollpositions-Steuersignal mit einem  
dem Positionssensor nachgeschalteten weiteren A/D-Wandler erfolgen.

5

Der erfundungsgemäß vorgesehenen Filterkoeffizienten-Berechnungseinheit wird über einen ersten Eingang ein ge-  
genüber dem Sensorsignal um ein Abtastintervall verzögertes Sollpositionssignal und über einen zweiten Eingang ein  
Differenzsignal zugeführt, das aus diesem verzögerten Positionssignal und dem Sensorsignal nach der Beziehung

$$e[n-1] = s[n] - x[n-1] \quad (1)$$

10

gebildet ist, wobei  $x[n-1]$  das verzögerte Sollpositionssignal und  $s[n]$  das letzte Sensorsignal sowie  $e[n-1]$  der Aus-  
gangsfehler sind.

Die Filterkoeffizienten-Berechnungseinheit realisiert den NLMS-Algorithmus zur Optimierung der Filterkoeffizienten  
 $c_i$  mit  $i = 0, 1, \dots, N-1$  nach der Gleichung

$$c_i[n] = c_i[n-1] + \frac{1}{\sum_{k=0}^{N-1} x[n-1-k]^2} (s[n] - x[n-1]) \cdot x[n-1-i]$$

15

(2).

25

Die optional vorgesehene Hysteresekompensationseinrichtung nutzt insbesondere das an sich bekannte Preisach-Mo-  
dell zur Berechnung einer inversen Hysteresekaracteristik, die dem Sollpositions-Steuersignal zur Kompensation der  
realen Hysteresekaracteristik des Aktors aufgeprägt wird.

Der – ebenfalls optional vorgesehene – PI-Regler ist dem steuerbaren Filter insbesondere über eine Additionsstufe  
nachgeschaltet, in der das Filterausgangssignal und das Ist-Positionssignal des Positionssensors zur Verarbeitung durch  
den PI-Regler aufsummiert werden.

30

Vorteile und Zweckmäßigkeiten der Erfahrung werden im übrigen aus den Unteransprüchen sowie der nachfolgenden  
Beschreibung zweier Ausführungsbeispiele anhand der Figuren deutlich. Von diesen zeigen:

**Fig. 1** ein Funktions-Blockschaltbild einer Positioniervorrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfin-  
dung,

**Fig. 2** ein Funktions-Blockschaltbild einer Positioniervorrichtung gemäß einer zweiten Ausführungsform,

35

**Fig. 3** eine Detailskizze eines Funktionsblockes aus **Fig. 1** bzw. 2,

**Fig. 4** die Darstellung eines Signalverlaufs von Ein- und Ausgangssignal sowie des Differenzsignals zwischen beiden  
bei einer herkömmlichen Positioniervorrichtung,

**Fig. 5** die Darstellung eines Signalverlaufs von Ein- und Ausgangssignal sowie des Differenzsignals zwischen beiden  
bei einer Ausführungsform der erfundungsgemäßen Positioniervorrichtung und

40

**Fig. 6** die Darstellung eines Signalverlaufs von Ein- und Ausgangssignal sowie des Differenzsignals zwischen beiden  
bei einer weiteren Ausführungsform der Erfahrung.

45

**Fig. 1** zeigt in stark vereinfachter Darstellung eines Funktions-Blockschaltbildes eine Positioniervorrichtung **100** die  
eine Sollpositionsdaten-Eingabeeinrichtung **101**, einen in seinem dynamischen Verhalten als linear anzunehmenden Po-  
sitionierantrieb **103** und einen dem Positionierantrieb zugeordneten Positionssensor **105** aufweist. Der Ausgang der Soll-  
positionsdaten-Eingabeeinrichtung **101** ist über einen ersten A/D-Wandler **107** mit dem Eingang eines schnell veränder-  
baren Filters **109** verbunden, dessen Ausgang über einen D/A-Wandler **111** mit dem Positionierantrieb **103** verbunden ist.  
Der Ausgang des Sensors **105** ist über einen zweiten A/D-Wandler **113** mit einem ersten Eingang einer Filterkoeffizien-  
ten-Berechnungseinheit **115** verbunden, die über einen zweiten Eingang mit dem Ausgang des ersten A/D-Wandlers **107**  
und über einen Steuerausgang mit einem Steuereingang des veränderbaren Filters **109** verbunden ist.

50

Das veränderbare Filter **109** ist speziell als digitales FIR-Filter ausgeführt, das sich dadurch auszeichnet, daß für seine  
Impulsantwort durch entsprechende Vorgabe der Filterkoeffizienten ein frei wählbarer Verlauf vorgegeben werden kann.  
In dem FIR-Filter **109** erfolgt eine hier als "Adaptive Signal Preshaping" gekennzeichnete Verarbeitung des Sollposi-  
tions-Steuersignals zu einem Ansteuersignal für den Positionierantrieb **103**, welches das Übertragungsverhalten des Sy-  
stems sozusagen antizipiert und damit die weitgehend exakte dynamische Positionierung eines Werkzeugs, optischen  
Elements o. ä. ermöglicht.

55

**Fig. 2** zeigt eine gegenüber **Fig. 1** modifizierte Ausführung einer Positioniervorrichtung **200**, die speziell einen Po-  
sitionierantrieb **203** unter Einsatz eines Piezoaktors aufweist, welcher bekanntlich aufgrund von Hystereseffekten ein  
nicht-lineares Verhalten zeigt. Die Positioniervorrichtung **200** weist sämtliche Komponenten der oben beschriebenen er-  
sten Ausführungsform auf, die in **Fig. 2** mit zu **Fig. 1** korrespondierenden Bezugsziffern bezeichnet sind und nachfol-  
gend nicht nochmals erläutert werden. Das Kernstück auch der Positioniervorrichtung **200** bildet folglich ein FIR-Filter  
**209** mit zugeordneter Filterkoeffizienten-Berechnungseinheit **215**, deren Funktion weiter unten genauer beschrieben  
wird.

60

Zusätzlich umfaßt die Regelschleife bei der Positioniervorrichtung **200** eine Additionsstufe **217**, in der das digitali-  
sierte Positionssignal des Sensors **205** mit dem Ausgangssignal des FIR-Filters **209** aufsummiert wird und deren Aus-  
gang mit dem Eingang eines PI-Reglers **219** verbunden ist, in dem eine das zeitliche Ansprechverhalten des Systems ver-  
bessernde Signalnachbearbeitung erfolgt. Die Funktionsweise eines PI-Reglers ist als bekannt vorauszusetzen und wird  
daher hier nicht erläutert. Dem PI-Regler **219** ist eine Hysteresekompensationsstufe **221** nachgeschaltet, in der das gefil-  
terte und primär nachbearbeitete Sollpositions-Steuersignal einer sekundären Nachbearbeitung zur Kompensation des

65

Hystereseverhaltens des Piezoaktors unterzogen wird. Hierzu wird in der Hysteresekompensationsstufe **221** das Hystereseverhalten unter Nutzung des Preisach-Modells modelliert und die hieraus gewonnene inverse Hysteresecharakteristik dem primär nachbearbeiteten Signal aufgeprägt. Dem Ausgang der Hysteresekompensationsstufe **221** ist ein Notchfilter **223** nachgeschaltet, das durch Ausfilterung der Resonanzfrequenz des Systems eine tertiäre Signallnachbearbeitung vornimmt und dessen Ausgang schließlich über den D/A-Wandler **211** mit dem Positionierantrieb verbunden ist.

In **Fig. 3** wird zur Erläuterung der Funktion des FIR-Filters und der zugehörigen Filterkoeffizienten-Berechnungseinheit bei den Positioniervorrichtungen **100** gemäß **Fig. 1** bzw. **200** gemäß **Fig. 2** die Ein-/Ausgangskonstellation dieser Komponenten etwas genauer gezeigt. Das FIR-Filter ist hier (in Korrespondenz zu den in **Fig. 1** und **2** gewählten Bezugsziffern) mit der Ziffer **9** bezeichnet und die Filterkoeffizienten-Berechnungseinheit mit der Ziffer **15**. Das Eingangssignal des FIR-Filters **9** ist, wie oben bereits erwähnt, ein Sollpositions-Steuersignal  $X[n]$ , und sein Ausgangssignal ist ein gefiltertes Sollpositions-Steuersignal  $Y[n]$ , das bei der Ausführung nach **Fig. 1** zugleich das Ansteuersignal für den Positionierantrieb darstellt, bei der Ausführung nach **Fig. 2** aber noch der oben erwähnten Nachbearbeitung unterzogen wird.

An einem dem FIR-Filter **9** vorgeschalteten Knoten **9a** verzweigt sich der Eingangssignalpfad in ein Verzögerungsglied **15a**, das ausgangsseitig über einen ersten Eingang **15b** der Filterkoeffizienten-Berechnungseinheit **15** direkt mit dieser und zudem mit einem ersten Eingang einer Subtraktionsstufe **15c** verbunden ist. Letztere ist über einen zweiten Eingang mit dem (hier nicht gezeigten) Positionssensor verbunden und empfängt von dort ein Ist-Positionssignal  $S[n]$ . Sie bildet gemäß der oben angegebenen Gl. (1) ein Differenzsignal  $E[n-1]$  aus dem aktuellen Ist-Positionssignal und dem zeitverzögerten Sollpositionssignal und führt dieses über einen zweiten Eingang **15d** der Filterkoeffizienten-Berechnungseinheit **15** zu. In der Filterkoeffizienten-Berechnungseinheit wird aufgrund der ebenen oben angegebenen Gl. (2) ein Satz von  $(N-1)$  Filterkoeffizienten zur Filterung des Sollpositions-Steuersignals gemäß der aktuellen Übertragungsscharakteristik des Systems nahezu in Echtzeit berechnet und das FIR-Filter **9** entsprechend eingestellt.

Die **Fig. 4** bis **6** verdeutlichen, in welchem Ausmaß die vorgeschlagene Positioniervorrichtung eine Verbesserung der Positioniergenauigkeit ermöglicht. In allen Figuren ist auf der x-Achse die Abtastintervallnummer und auf der y-Achse die Amplitude in relativen Einheiten aufgetragen.

**Fig. 4** zeigt den (digital abgetasteten) zeitlichen Verlauf des Sollpositions-Steuersignals (50Hz-Sinuswelle – Kurve  $A_1$ ) zusammen mit dem zeitlichen Verlauf des am Sensor erfaßten Ist-Positionssignals (Kurve  $B_1$ ) sowie den zeitlichen Verlauf der Differenz aus beiden (Kurve  $C_1$ ) bei einer herkömmlichen Positioniervorrichtung ohne "Adaptive Signal Preshaping".

**Fig. 5** zeigt die entsprechenden Zeitverläufe  $A_2$ ,  $B_2$  und  $C_2$  bei einer Ausführungsform der Erfindung (ebenfalls anhand eines 50Hz-Steuersignals), und **Fig. 6** zeigt in entsprechender Weise Kurvenverläufe  $A_3$ ,  $B_3$  sowie  $C_3$  für das Anwendungsbeispiel eines Kolbenprofildrehens mittels eines durch den Positionierantrieb betätigten Drehmeißels bei einer Ansteuerfrequenz von 40 Hz (entsprechend  $2400 \text{ min}^{-1}$ ) bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung. Es ist zu erkennen, daß im Ergebnis der online vorgenommenen adaptiven Signalvorformung praktisch kein Positionierfehler mehr auftritt.

Die Ausführung der Erfindung ist nicht auf die beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt, sondern auch in einer Vielzahl von Abwandlungen möglich. Insbesondere ist das Vorsehen eines Proportional-Integral-Reglers, einer Linearisierungsstufe und/oder eines Notchfilters oder der Verzicht auf diese Komponenten abhängig von den konkreten Systemparametern des Positionierantriebes, insbesondere von der Linearität bzw. Nichtlinearität des Aktors, sowie von den Einsatzbedingungen vorzugeben. Die – in der Praxis allerdings wenig relevante – Bearbeitung von oberwellenreichen Steuersignalen (etwa Sägezahn- oder Rechteckimpulsen) auf die vorgeschlagene Weise erfolgt zweckmäßigerweise im Anschluß an eine die Oberwellenanteile reduzierende Vorbearbeitung derartiger Signale, die dem Fachmann vertraut ist und daher hier nicht erläutert wird.

## 45 Bezugszeichenliste

- 100; 200** Positioniervorrichtung
- 101; 201** Sollpositionsdaten-Eingabeeinrichtung
- 103; 203** Positionierantrieb
- 105; 205** Positionssensor
- 107, 113; 207, 213** A/D-Wandler
- 9; 109; 209** veränderbares Filter (FIR-Filter)
- 9a** Knoten
- 111; 211** D/A-Wandler
- 15; 115; 215** Filterkoeffizienten-Berechnungseinheit
- 15a** Verzögerungsglied
- 15b** erster Eingang
- 15c** Subtraktionsstufe
- 15d** zweiter Eingang
- 217** Additionsstufe
- 219** PI-Regler
- 221** Hysteresekompensationsstufe
- 223** Notchfilter
- $A_1, B_1, C_1$  Signal-Zeitverläufe
- $A_2, B_2, C_2$  Signal-Zeitverläufe
- $A_3, B_3, C_3$  Signal-Zeitverläufe
- $S[n], S[n-1]$  Ist-Positionssignal
- $X[n]$  Sollpositions-Steuersignal

1. Positioniervorrichtung (100; 200) mit
  - einem insbesondere einen Piezokeramik-Aktor aufweisenden Positionierantrieb (103; 203),
  - einem Positionssensor (105; 205) und
  - einer eingangsseitig mit einer Steuersignal- Eingabeeinrichtung (101; 210) sowie in einer geschlossenen Regelschleife mit dem Positionssensor verbundenen Ansteuereinrichtung (9, 13; 107–115; 207–223) für den Positionierantrieb, die zur Ausgabe vorgeformter Ansteuersignale an den Positionierantrieb ausgebildet ist,  
**dadurch gekennzeichnet**, daß die Ansteuereinrichtung ein steuerbares Filter (9; 109; 209) mit veränderbaren Filterkoeffizienten aufweist, das über einen Steuereingang mit einer Filterkoeffizienten-Berechnungseinheit (15; 115; 215) verbunden ist, welche über einen ersten Eingang (15a) mit der Steuersignal-Eingabeeinrichtung und über einen zweiten Eingang mindestens mit dem Positionssensor verbunden ist und aus eingegebenen Sollpositions-Steuersignalen (X[n]) sowie erfaßten Ist-Positionssignalen (S[n]) in Echtzeit die aktuellen Filterkoeffizienten berechnet. 10
2. Positioniervorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Filterkoeffizienten-Berechnungseinheit (15; 115; 215) zur Berechnung der Filterkoeffizienten nach dem Normalized-Least-Mean-Square-Algorithmus aus dem Sollpositions-Steuersignal (X[n]) und dem Ist-Positionssignal (S[n]) ausgebildet ist. 15
3. Positioniervorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß dem steuerbaren Filter (209) ein Proportional-Integral-Regler (219) zur Verbesserung des zeitlichen Ansprechverhaltens nachgeschaltet ist. 20
4. Positioniervorrichtung nach einem der vorgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelschleife eine Linearisierungseinrichtung, insbesondere eine Hysteresekompensationseinrichtung (221), zur Linearisierung des Übertragungsverhaltens aufweist. 25
5. Positioniervorrichtung nach einem der vorgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die eingegebenen Sollpositions-Steuersignale (S[n]) im wesentlichen frei von Spektralanteilen bei oder oberhalb einer Resonanzfrequenz des Positionierantriebs sind oder die Regelschleife eine Filtereinrichtung (223) zur Eliminierung solcher Spektralanteile aufweist. 30
6. Positioniervorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein Notchfilter (223) vorgesehen ist, das die Resonanzfrequenz des Systems unterdrückt. 35
7. Positioniervorrichtung nach einem der vorgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das steuerbare Filter ein Digitalfilter, insbesondere ein FIR-Filter (9; 109; 209) ist und ihm insbesondere zur Verarbeitung analoger Sollpositions-Steuersignale ein erster A/D-Wandler (107; 207) vorgeschaltet und/oder zur Ausgabe analoger Ansteuersignale ein D/A-Wandler (111; 211) nachgeschaltet ist. 40
8. Positioniervorrichtung nach einem der vorgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuersignal-Eingabeeinrichtung (101; 201) und der Positionssensor (105; 205) zur synchronen Bereitstellung des Sollpositions-Steuersignals (X[n]) und des Ist-Positionssignals (S[n]) in vorbestimmten Abtastintervallen ausgebildet sind. 45
9. Positioniervorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß dem ersten Eingang (15b) der Filterkoeffizienten-Berechnungseinheit (15) ein Verzögerungsglied (15a) oder ein Zwischenspeicher vorgeschaltet ist, das bzw. der dem ersten Eingang ein gegenüber dem aktuellen Ist-Sensorsignal ein um ein Abtastintervall verzögertes Sollpositions-Steuersignal (X[n-1]) zuführt. 50
10. Positioniervorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß dem zweiten Eingang (15d) der Filterkoeffizienten-Berechnungseinrichtung eine Subtraktionsstufe (15c) vorgeschaltet ist, in der das Ist-Positionssignal (S[n]) und das um ein Abtastintervall verzögerte Sollpositions-Steuersignal (X[n-1]) subtrahiert werden. 55
11. Positioniervorrichtung nach Anspruch 7 und einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß dem Positionssensor (105; 205) ein zweiter A/D-Wandler (113; 213) nachgeschaltet ist, welcher mit dem ersten A/D-Wandler (107; 207) synchronisiert ist. 60
12. Positioniervorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß eine Hysteresekompensationseinrichtung (221) vorgesehen ist, welche dem Sollpositions-Steuersignal (X[n]) eine aufgrund des Preisach-Modells berechnete inverse Hysteresekaracteristik aufprägt. 65
13. Positioniervorrichtung nach einem Ansprüche 3 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Proportional-Integral-Regler (219) dem steuerbaren Filter (209) über eine Additionsstufe (217) nachgeschaltet ist, in der das Ausgangssignal des Filters und das Ist-Positionssignal aufsummiert werden.

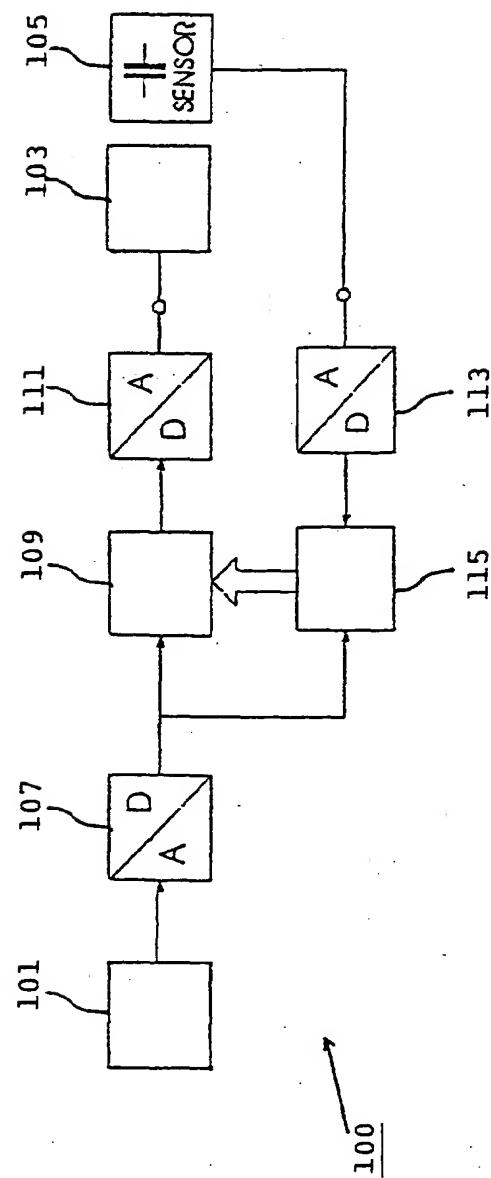


Fig. 1

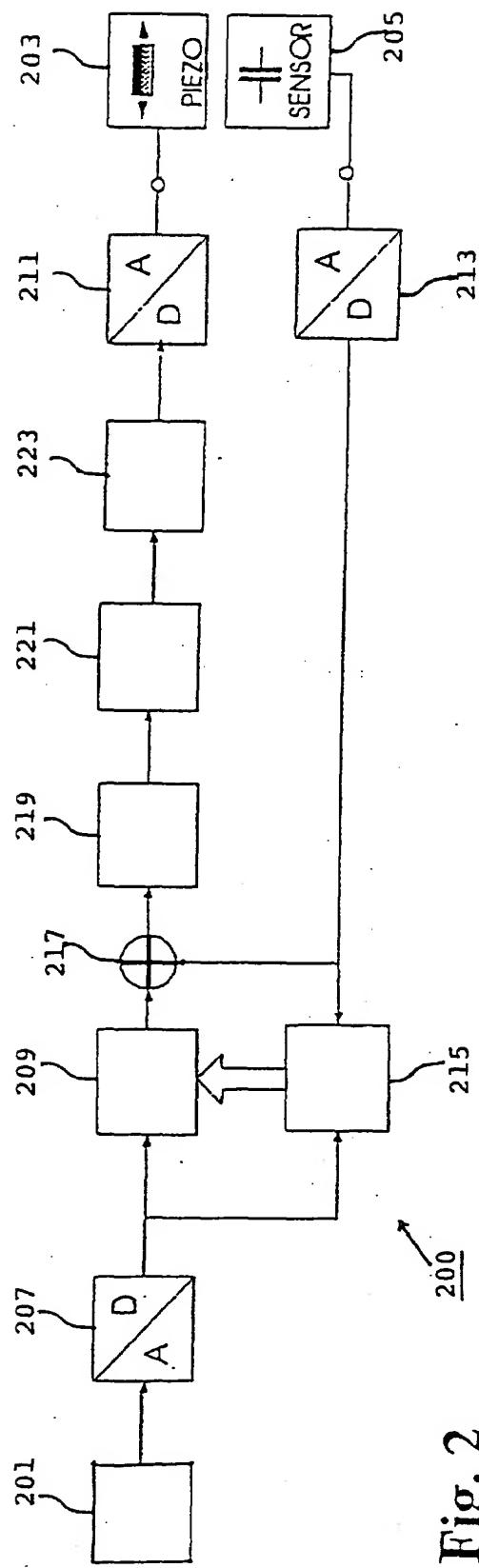
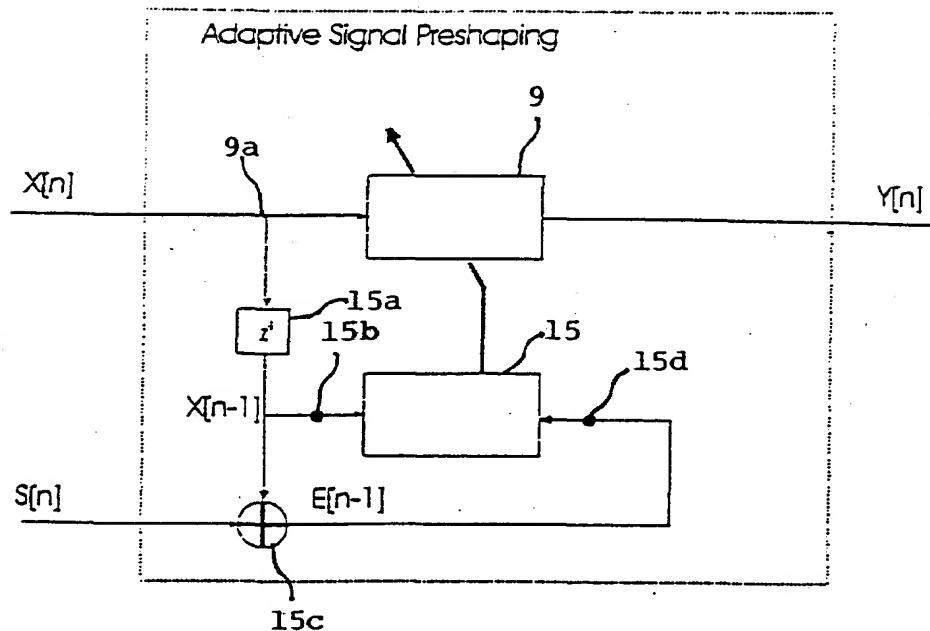
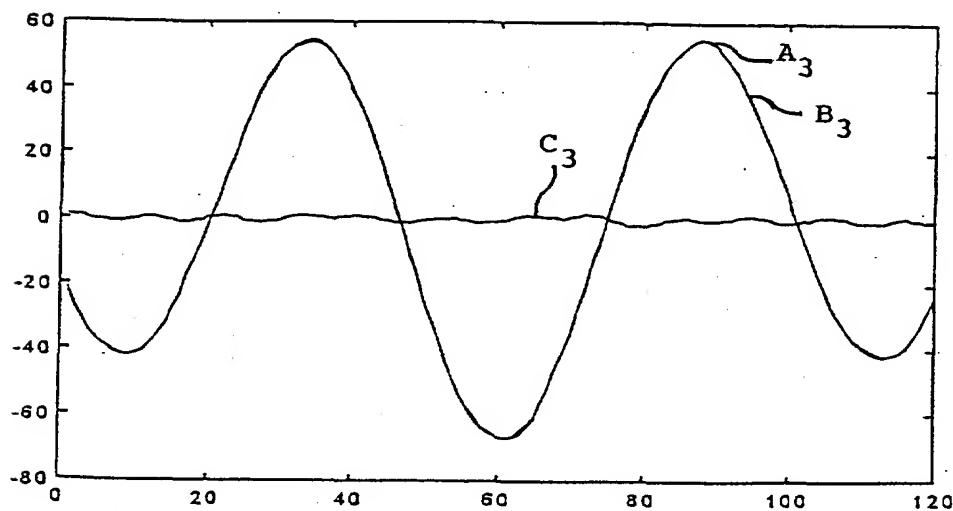
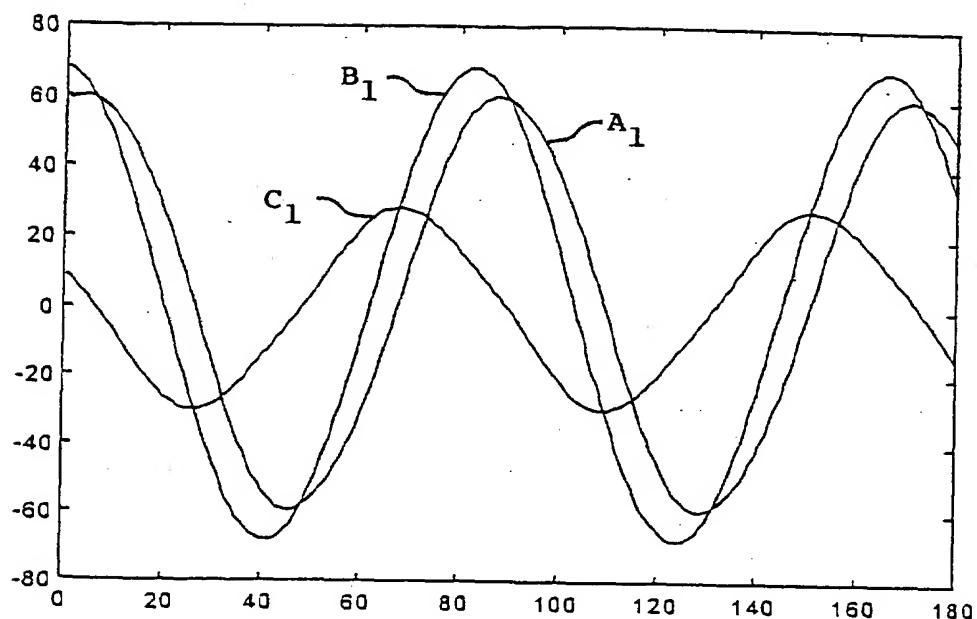
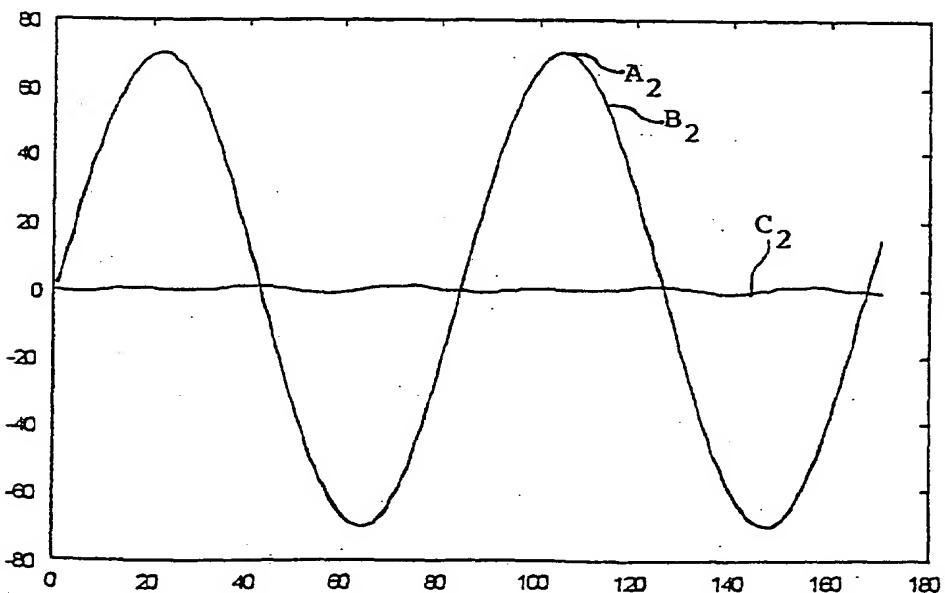


Fig. 2

**Fig. 3****Fig. 6**



**Fig. 4**



**Fig. 5**